

# **INTEGRANDO ENERGÍAS RENOVABLES EN SISTEMAS DE POTENCIA EN CENTROAMERICA**

**Estudios de Integración en la Red**

**Iniciativa IRENA Corredor Centroamericano de Energía Limpia (CECCA)**

**Panamá, Octubre 26-28, 2016**



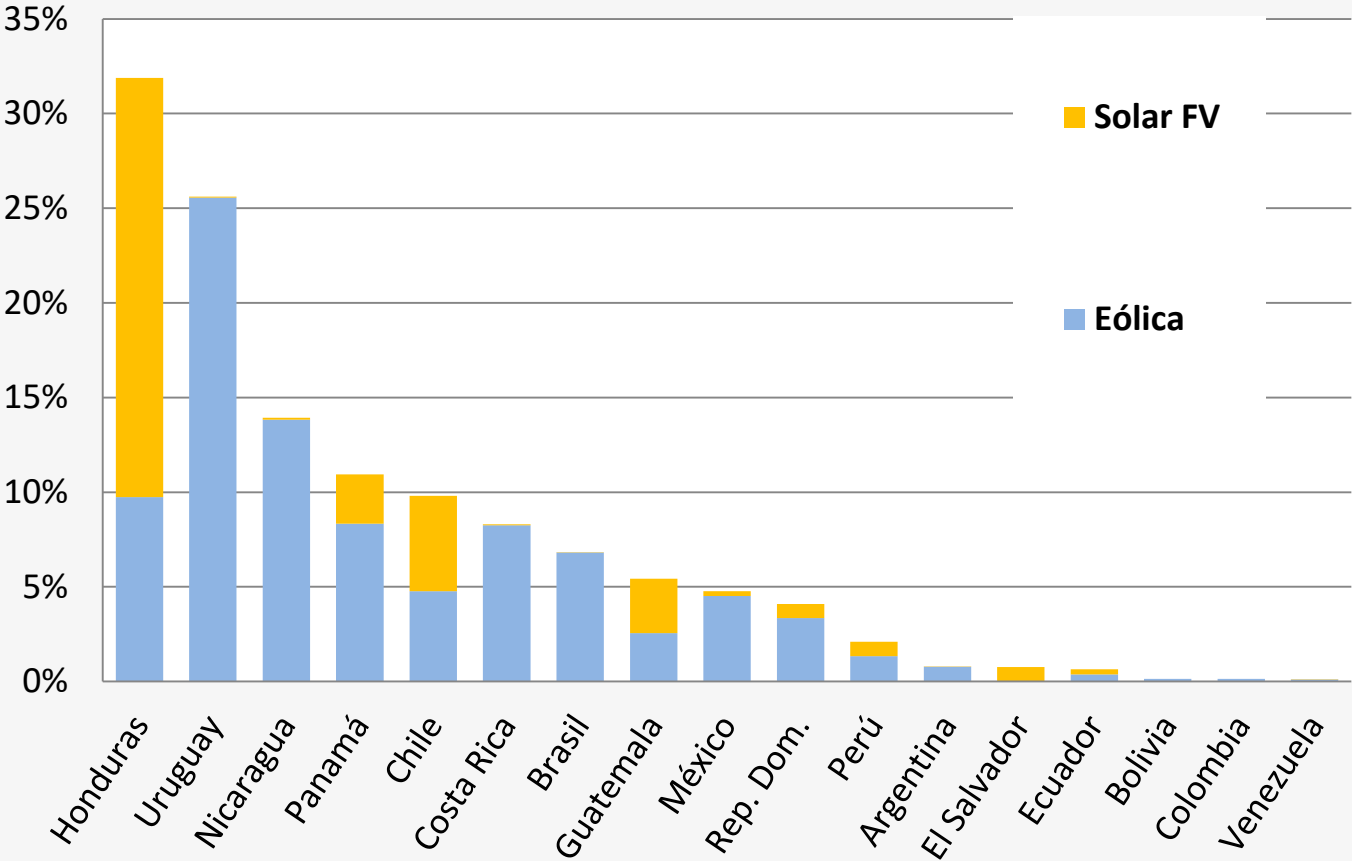
# AGENDA

- Estudio Red del Futuro
- Resultados CA
- Conclusiones
- Recomendaciones Estudios Integración ERV

# AGENDA

- **Estudio Red del Futuro**
- Resultados
- Conclusiones
- Recomendaciones Estudios Integración ERV

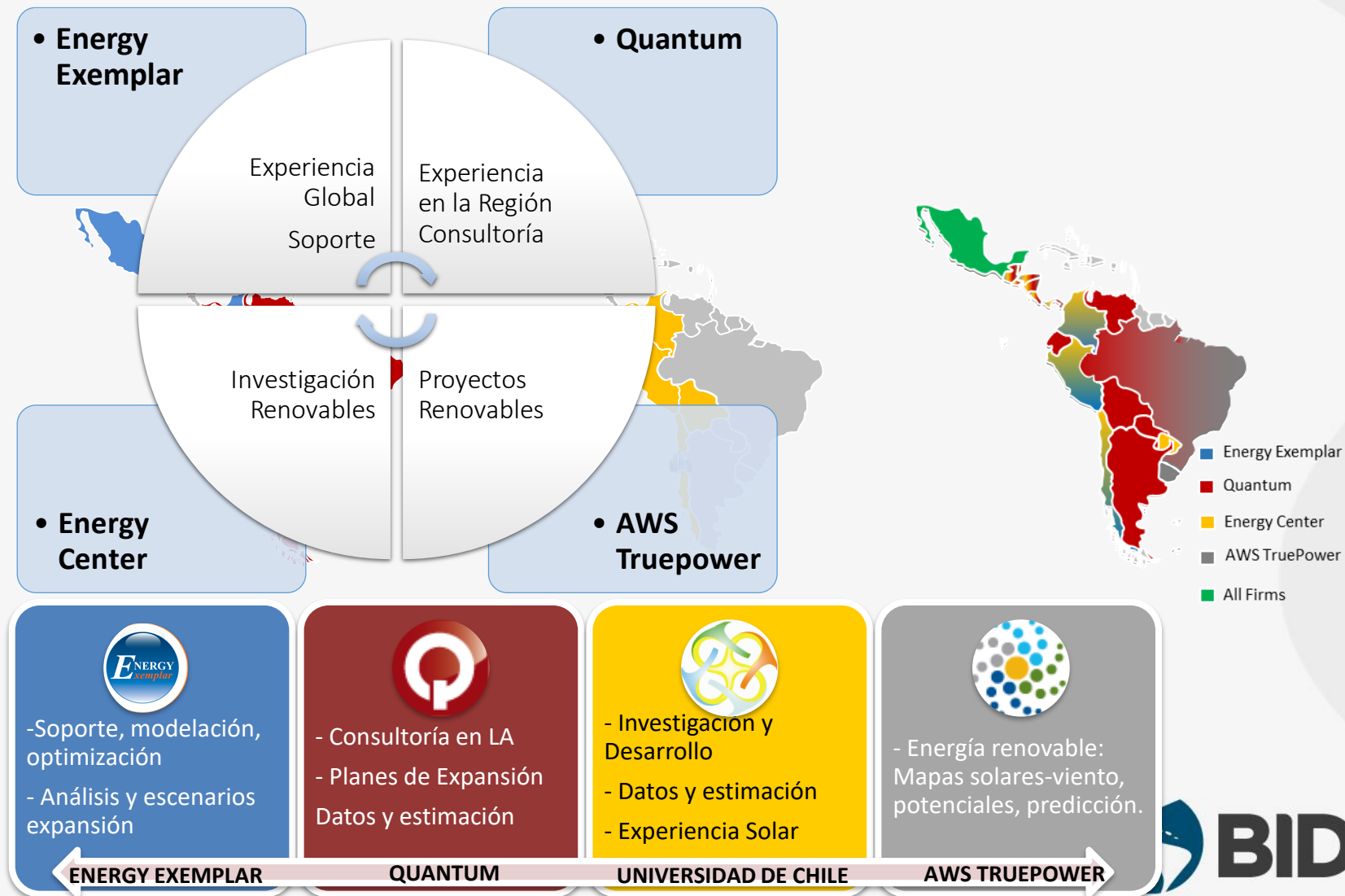
# ¿Dónde estamos?



# Red del Futuro

- **Visión:**
  - Desarrollo de una red eléctrica sostenible y baja en carbono para América Latina
- **Descripción:**
  - Identificar, medir y demostrar los beneficios netos de un sistema eléctrico interconectado y bajo en carbono, mediante la determinación analítica de la inversión rentable y técnicamente viable para América Latina (AL), en la generación y transmisión.
  - Inversiones óptimas dependen de:
    - Acoplamiento de la sustancial capacidad hidráulica actual y las otras fuentes renovables en la zona.
    - El rol de los sistemas de transporte interconectados transnacionales.

# Grupo de Trabajo



# Objetivos y Alcances

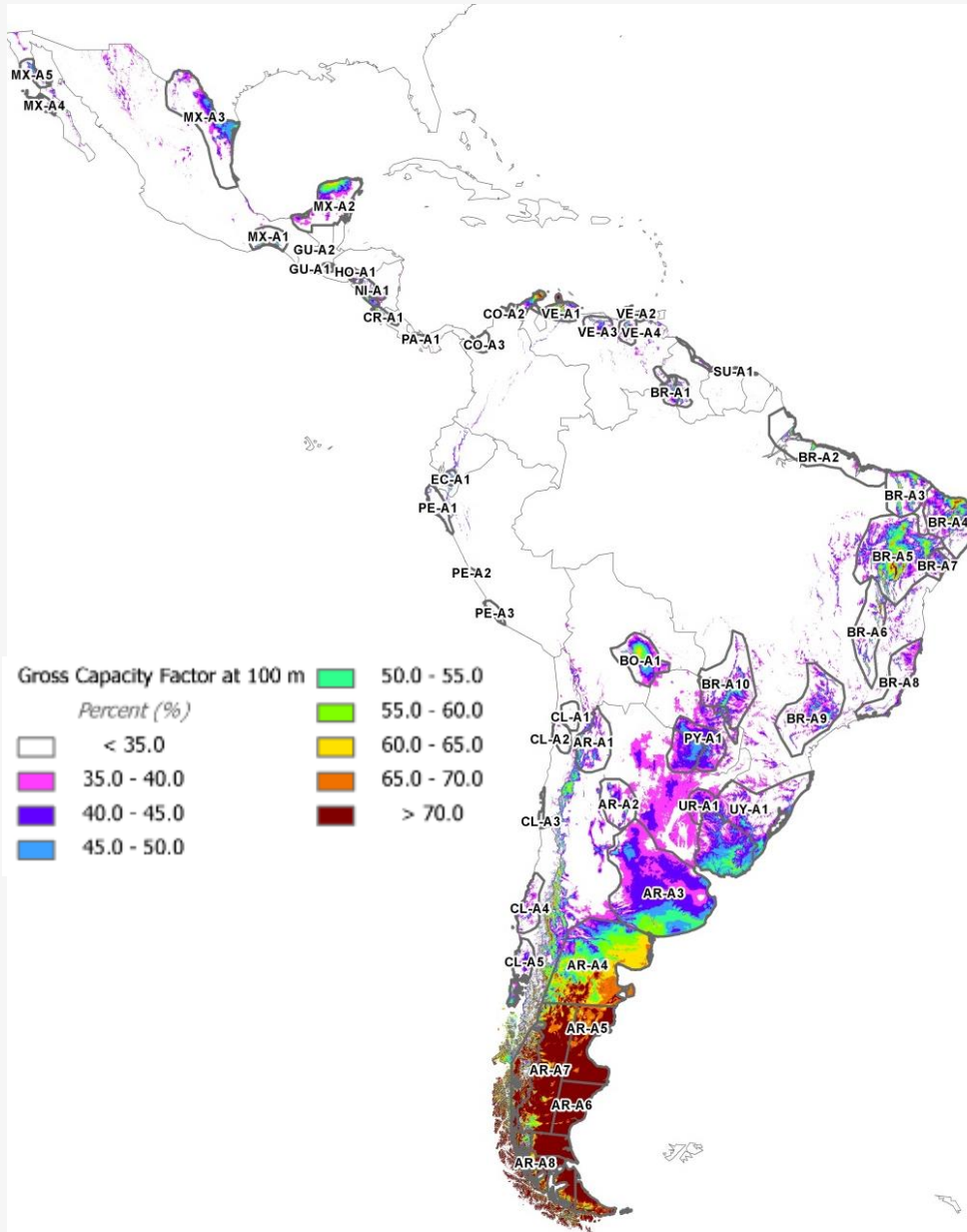
- Fase 1:
  - Revisión del estado-del-arte y las perspectivas de las tecnologías de energías renovables y la interconexión de transmisión regional.
  - Evaluación de potencial (capacidad + energía) de las fuentes de energía renovables variables en América Latina.
- Fase 2:
  - Análisis del sistema eléctrico en AL considerando necesidades futuras, determinando los pasos necesarios en inversión para transformar la red actual en una red sostenible y baja en carbono.
  - Las inversiones en tipos de generación, transmisión, costos de combustibles y el coste medio de la red de energía eléctrica al 2030.

# Escenarios

- BASE, Business as Usual (BAU) (baja penetración ERNC, baja integración): Refleja las tendencias actuales de implementación de ERNC sin integración adicional.
- Escenario Optimo, Core Optimistic (alta penetración de ERNC, alta integración): Integra de manera costo efectiva al 2030 un alto porcentaje de ER (80-90%) y alto grado de interconexión. (i.e. interconexiones costo-efectivas que permiten este porcentaje).
- Escenario Intermedio , RE Optimistic (alta penetración ERNC, baja integración)



# Metodología – Potencial Eólico



## Mapa de factor de capacidad bruto (FC)

- Modelación AWST meso escala/micro escala
- 100 m altura de rotor
- Curva de potencia combinada de máquinas 2.5 MW tipo IEC-II

## Área permitida determinada

- Exclusiones naturales: espejos de agua, humedales, laderas con pendientes >20%
- Exclusiones manuales: áreas protegidas, aeropuertos, áreas urbanas

Densidad supuesta de 9 MW/km<sup>2</sup>

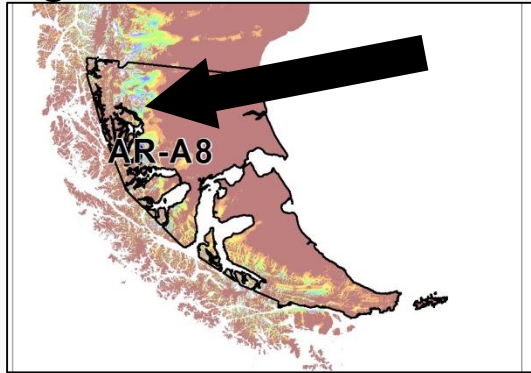
## Zonas de mayor potencial identificadas

Capacidad reducida para dar cuenta de las limitaciones en la resolución

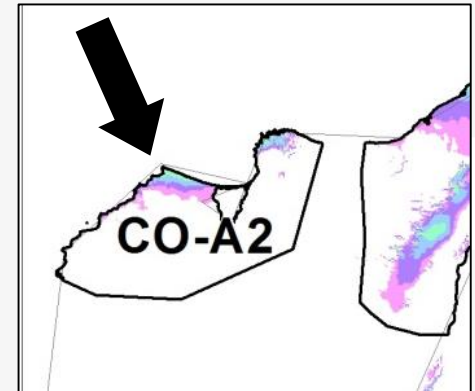
Capacidad potencial por banda de FC para cada país y zona

# Análisis de Perfiles de Viento

Argentina A08 35-45% GCF

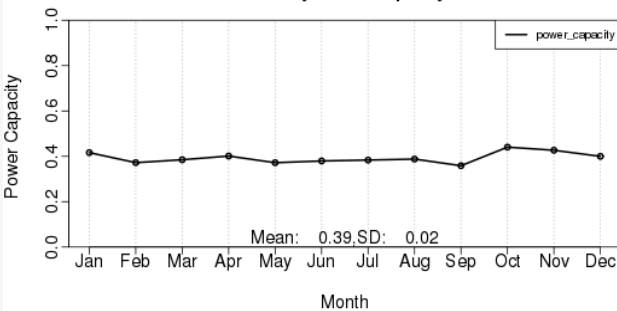


Colombia A02 45-60%

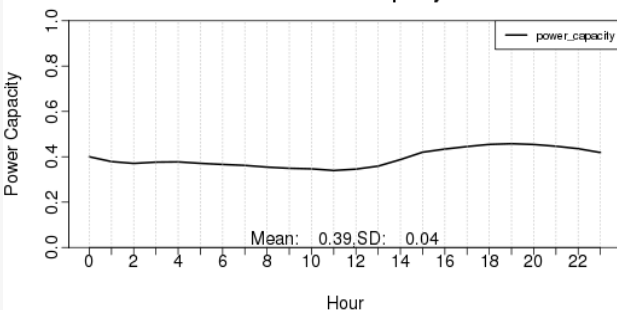


- Perfiles de viento en Argentina no presentan mayor variación intra-anual
- Perfiles de Colombia influenciados por vientos alisios, reducen la producción durante los meses de sequía
- Producción eólica en Argentina consistente durante el día, con un incremento hacia el final de la tarde
- Perfiles en Colombia influidos por la “brisa marina”, aumenta producción en la tarde

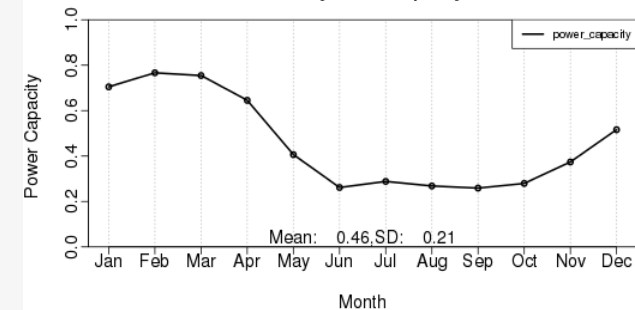
Monthly Power Capacity



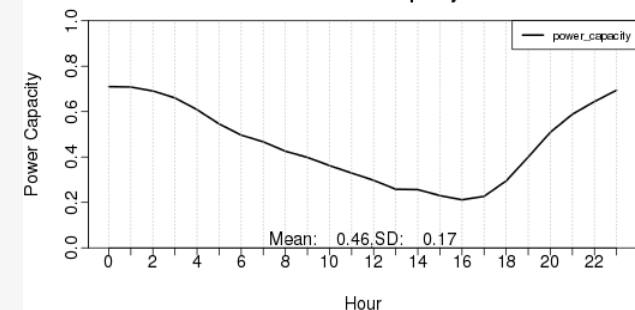
Diurnal Power Capacity



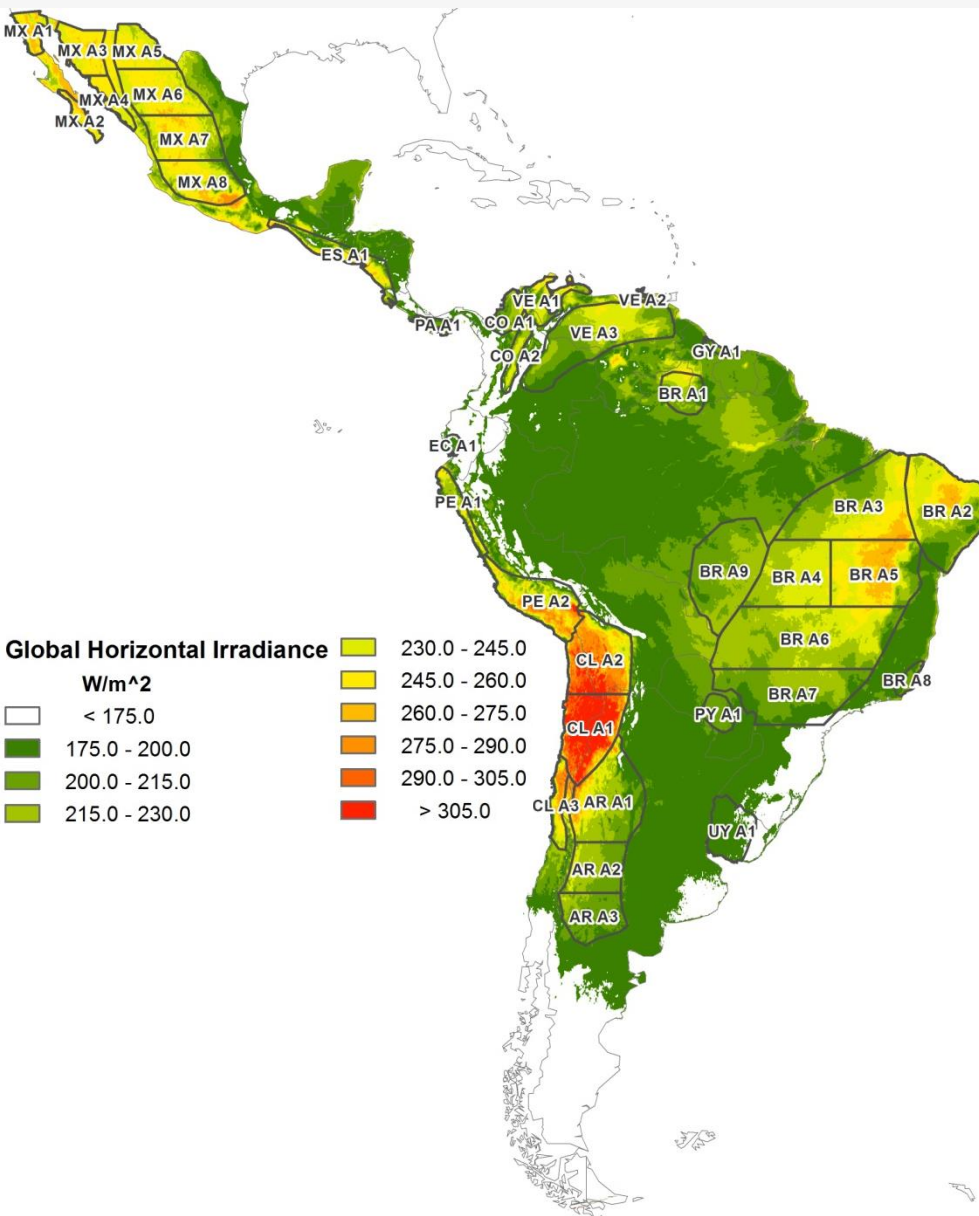
Monthly Power Capacity



Diurnal Power Capacity



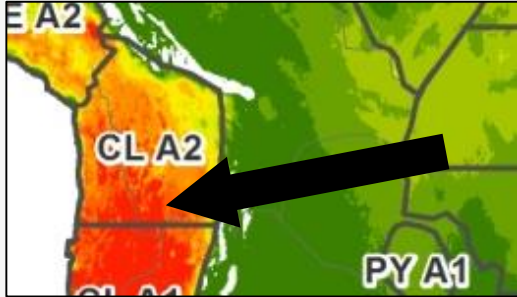
# Metodología – Potencial Solar



- Mapa de irradiación horizontal global creado satelitalmente
  - Se usó GSIP-v3 de NOAA
  - Ajustado con 60 estaciones terrestres de medición
- Área permitida determinada
  - Se consideraron regiones agrícolas, pastizales, áridas
  - Se excluyeron áreas protegidas
- Supuesto sistema FV de seguimiento de un eje
- Densidad de 29.77 MW/km<sup>2</sup>
- Zonas de mayor potencial identificadas
- Capacidad reducida para dar cuenta de las limitaciones en la resolución
- Capacidad potencial por banda de irradiación para cada país y zona

# Análisis de Perfiles Solares

Chile A02 >305 W/m<sup>2</sup>



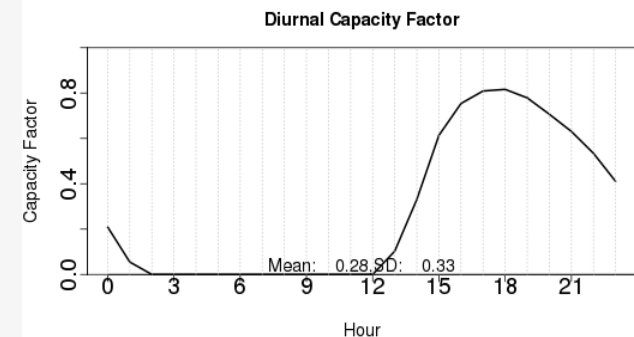
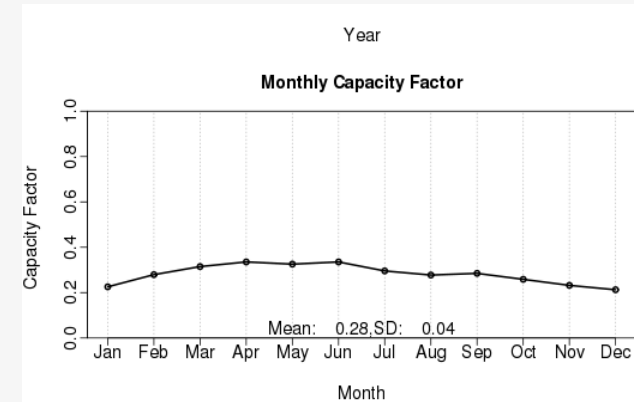
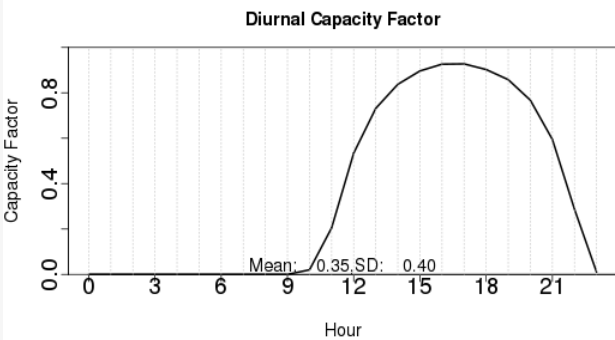
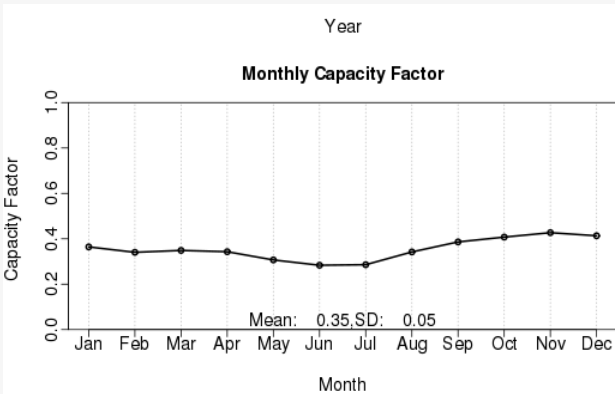
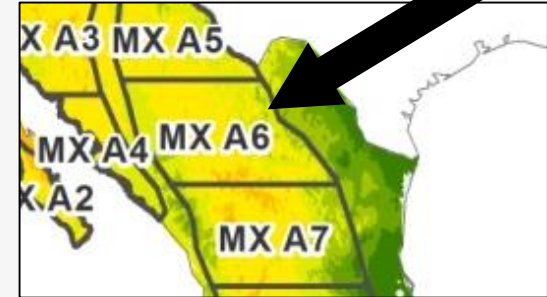
Ninguno de ellos presenta mayores interanuales

Diferencias de hemisferios resultan evidentes

Perfiles del desierto de Atacama (Chile) son “estables”

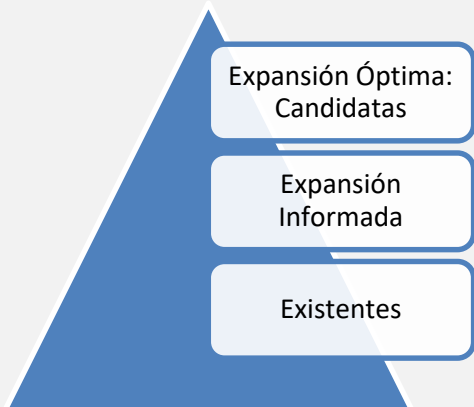
Perfiles de México afectos por nubosidad vespertina

Mexico A06 215-230 W/m<sup>2</sup>



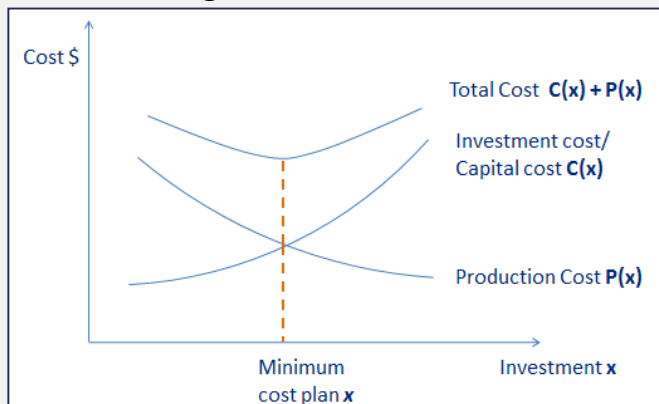
# Metodología

## Modelo Fundamental Sistema



Modelación

## Programación Matemática



Simulaciones

# Metodología

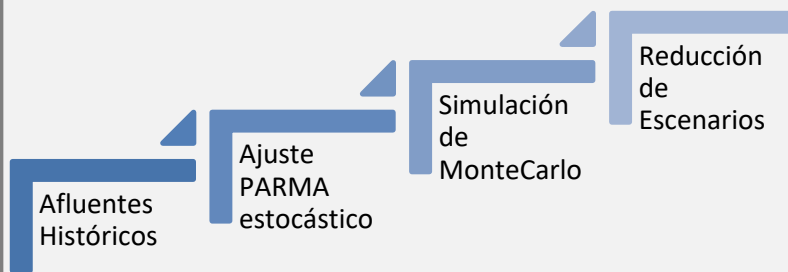
Optimización

## Planificación [Expansión Largo-Plazo]



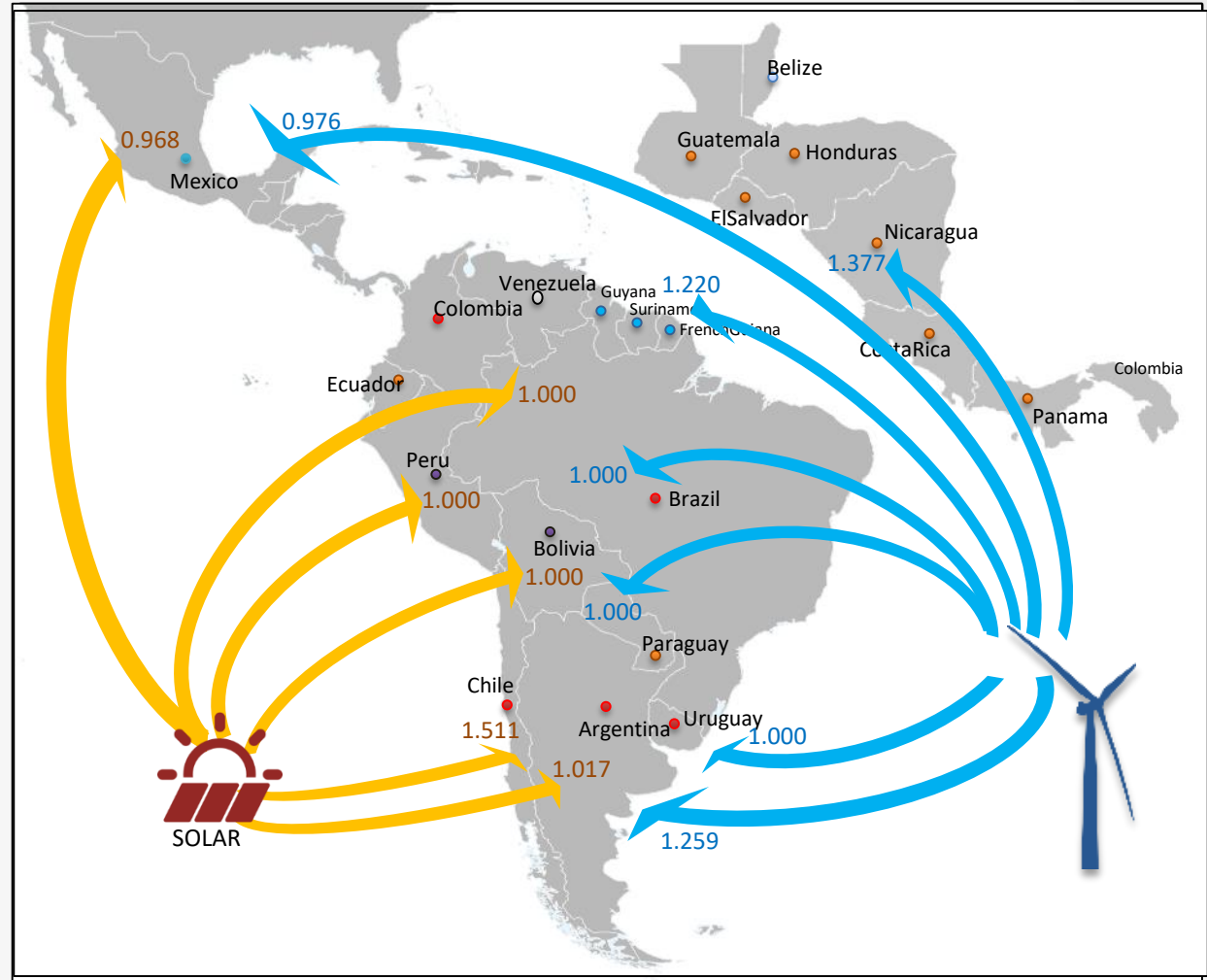
Hidro-  
Estocástico

## Muestras Hidrológicas



# Supuestos

- Precios
  - Fósiles
  - Inversión
- Candidatas
  - Generación
    - Tradicional
    - Renovables
  - Transmisión
    - Ampliación
    - Posibles
- Potenciales



# Supuestos

- Precios

- Fósiles

- Inversión

- Candidatas

- Generación

- Tradicional

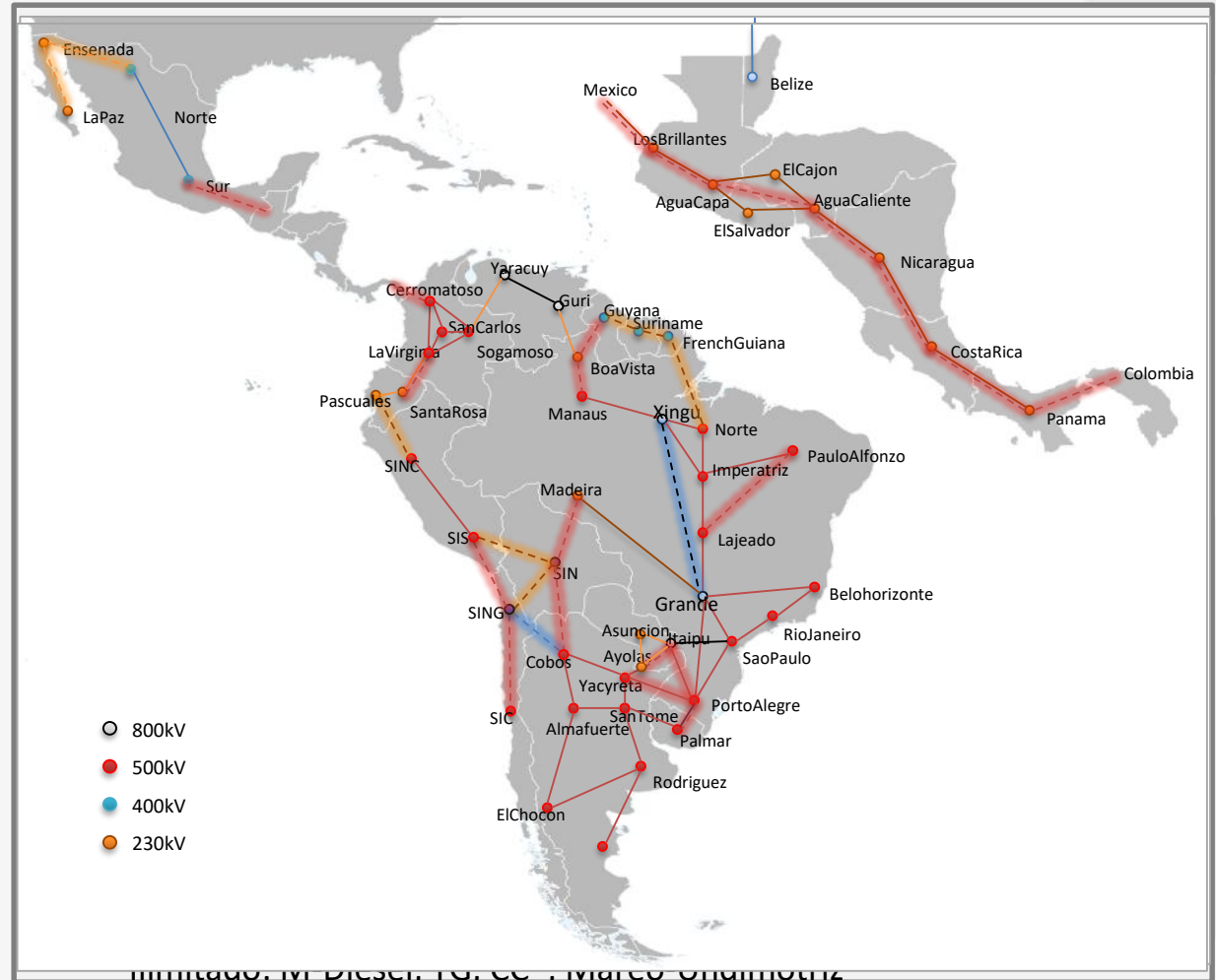
- Renovables

- Transmisión

- Ampliación

- Posibles

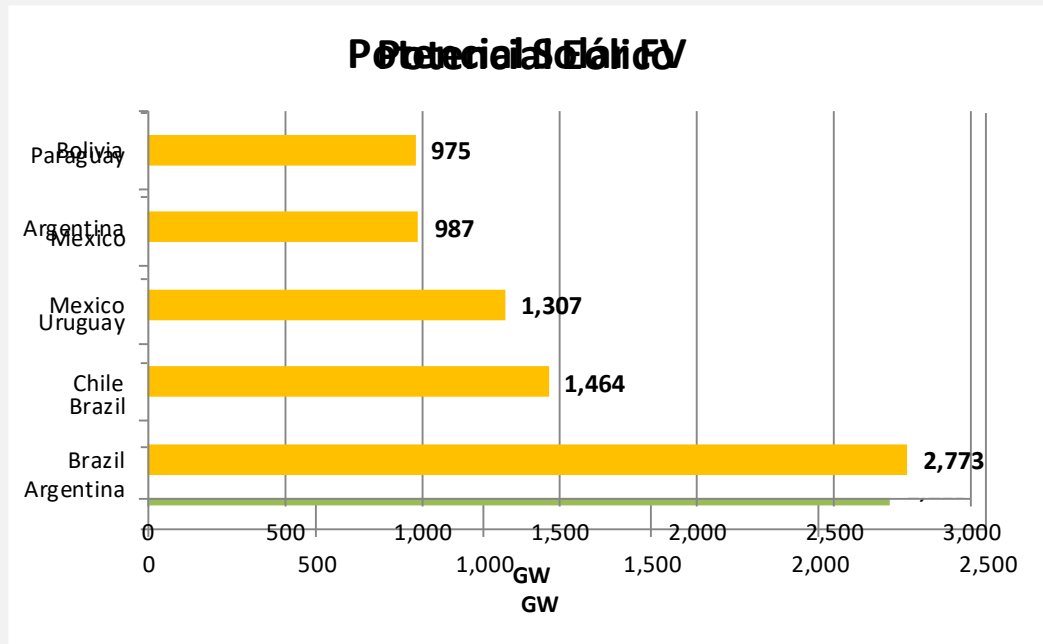
- Potenciales



# Supuestos

- Precios
  - Fósiles
  - Inversión
- Candidatas
  - Generación
    - Tradicional
    - Renovables
  - Transmisión
    - Ampliación
    - Posibles

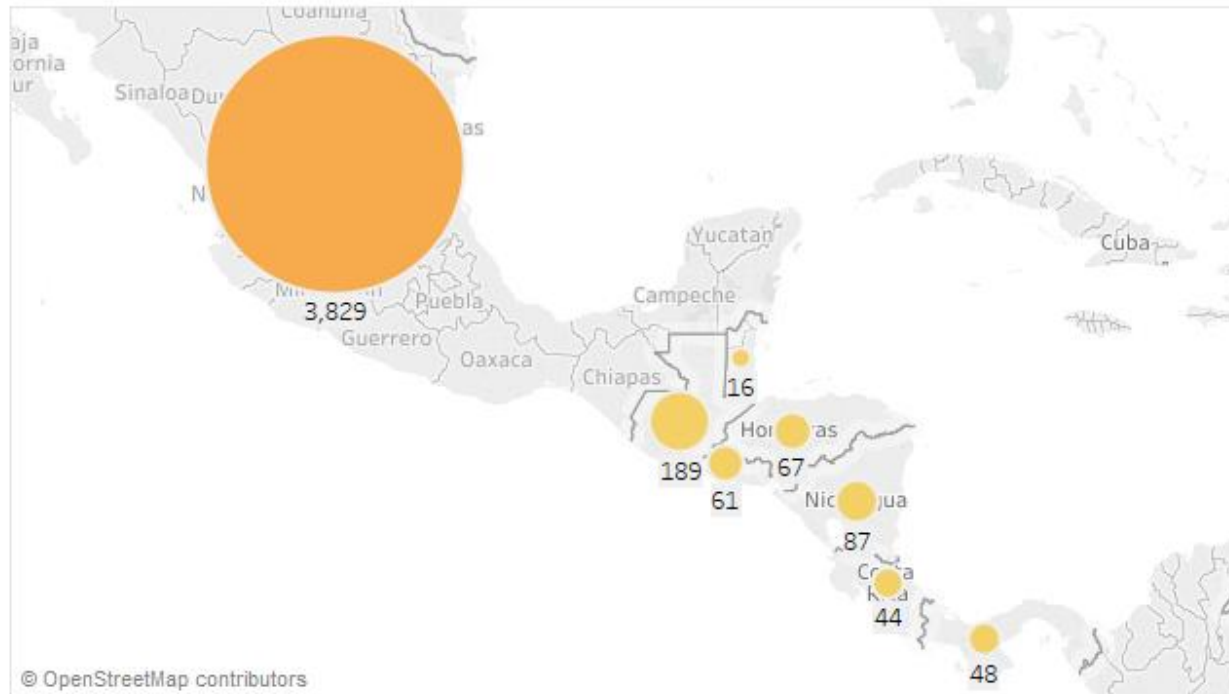
• Potenciales



Irradiación horizontal global > 230 W/m<sup>2</sup>



# Potenciales Eólico y Solar (TWh)

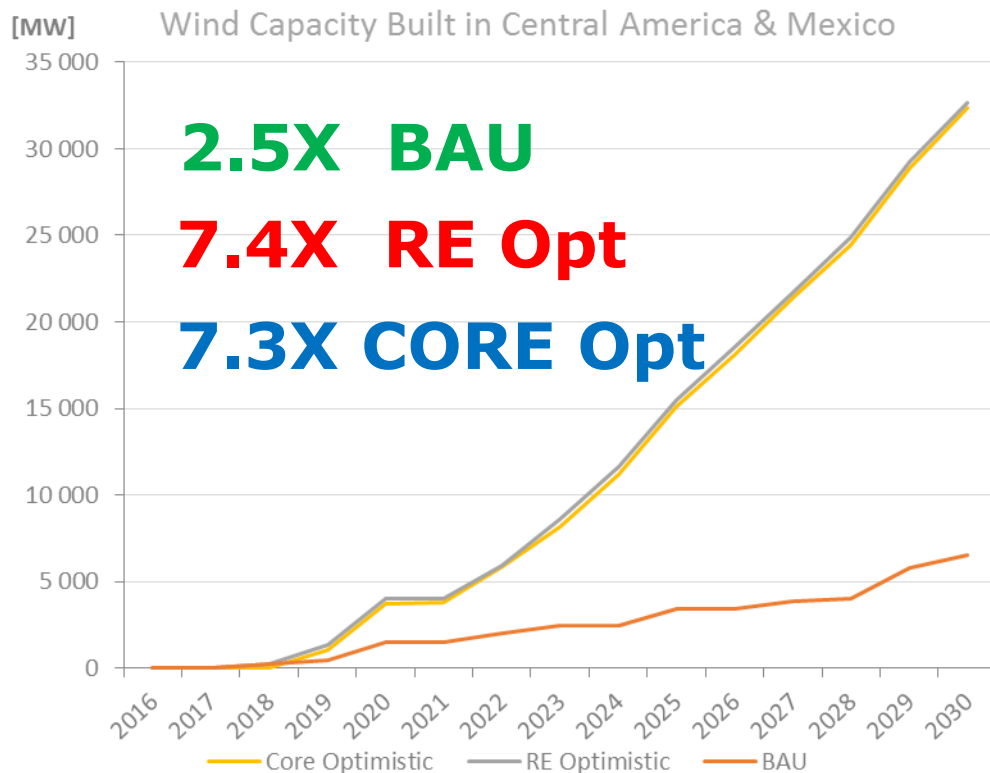


# AGENDA

- Estudio Red del Futuro
- **Resultados**
- Conclusiones
- Recomendaciones Estudios Integración ERV

# América Central

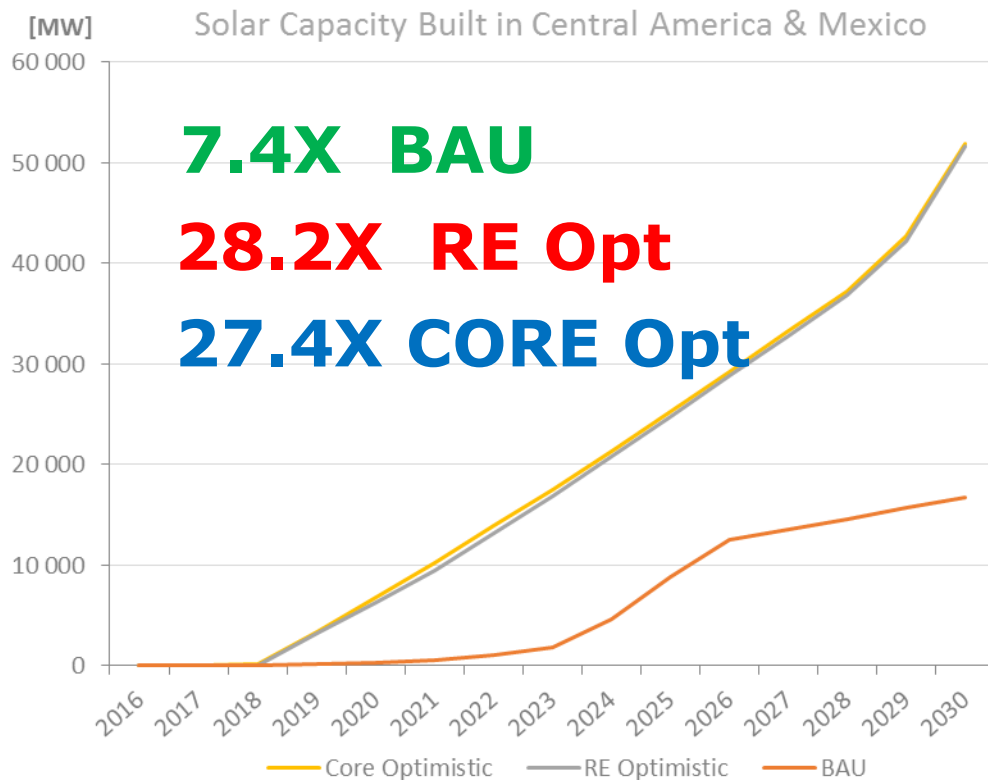
## Expansión eólica a 2030 (adicional)



Year	Wind Expansion		
	BAU	RE Optimistic	Core Optimistic
2016	759.6	759.6	759.6
2017	1 379.5	1 379.5	1 379.5
2018	2 568.9	2 568.9	2 568.9
2019	5 391.3	6 461.3	6 461.3
2020	6 752.9	10 594.9	10 821.5
2021	6 756.6	10 665.3	10 926.4
2022	6 760.2	12 609.1	12 740.2
2023	6 863.8	14 380.8	14 280.8
2024	7 018.7	16 766.3	16 615.0
2025	7 331.8	18 912.8	18 763.2
2026	7 336.6	18 967.6	18 804.4
2027	7 591.5	21 373.4	21 222.9
2028	7 596.3	24 730.9	24 382.2
2029	7 936.8	29 461.9	28 979.0
2030	8 337.3	34 680.1	34 114.9
<b>Total</b>	<b>8 337.3</b>	<b>34 680.1</b>	<b>34 114.9</b>

# América Central

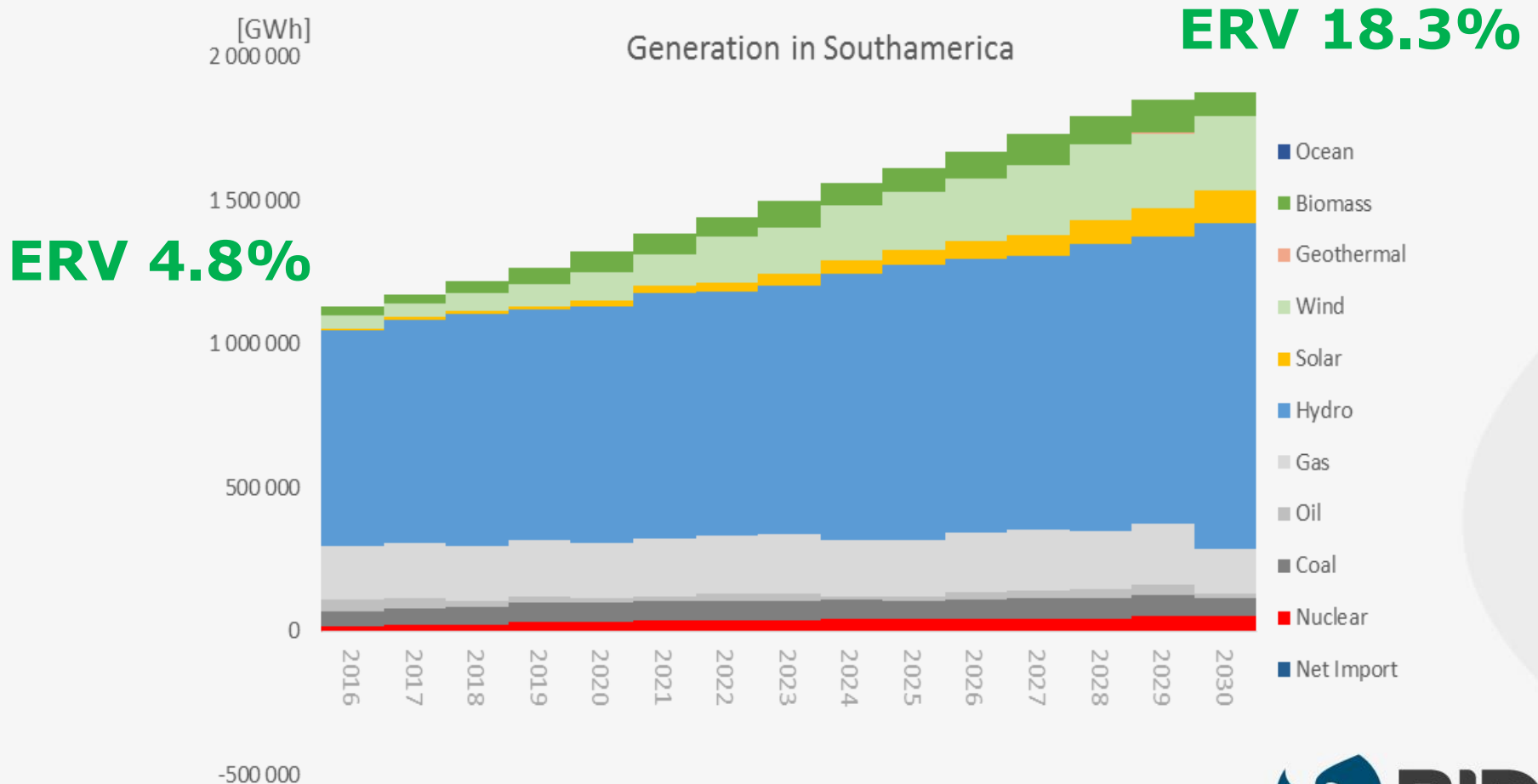
## Expansión solar a 2030 (adicional)



Year	Solar Expansion		
	BAU	RE Optimistic	Core Optimistic
2016	989.1	989.1	989.1
2017	1 519.9	1 519.9	1 519.9
2018	3 718.9	3 718.9	3 560.9
2019	3 918.9	3 918.9	3 736.7
2020	4 318.9	7 318.9	7 061.2
2021	4 731.0	10 718.9	10 461.2
2022	5 331.0	14 269.3	13 861.2
2023	5 984.7	17 962.6	17 288.4
2024	6 784.7	21 762.6	20 888.4
2025	7 622.9	25 621.6	24 688.4
2026	8 622.9	29 921.6	28 900.2
2027	9 622.9	34 551.6	33 348.7
2028	10 622.9	39 544.6	38 141.7
2029	11 622.9	44 936.6	43 533.7
2030	12 622.9	50 767.6	49 364.7
<b>Total</b>	<b>12 622.9</b>	<b>50 767.6</b>	<b>49 364.7</b>

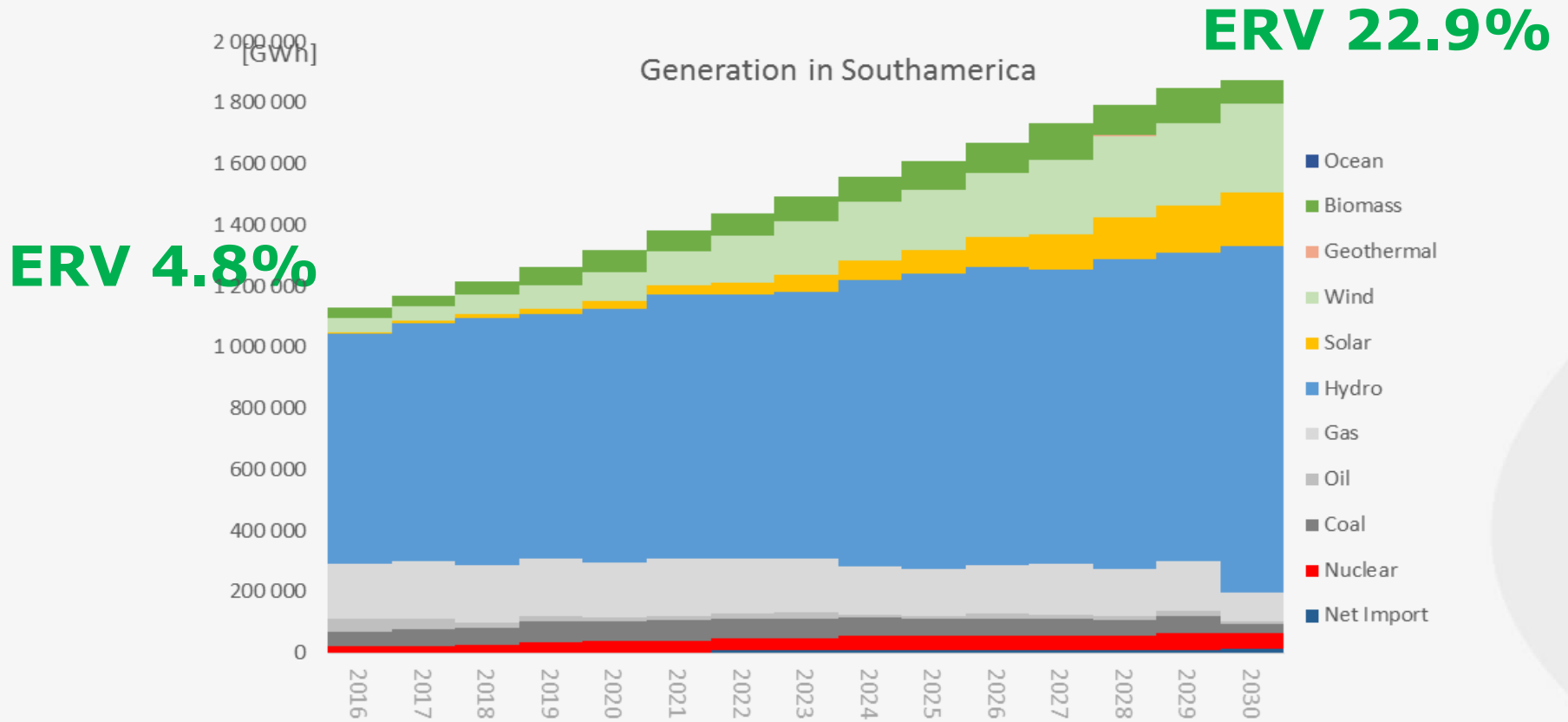
# América del Sur

## Generación por tecnología BAU [GWh]



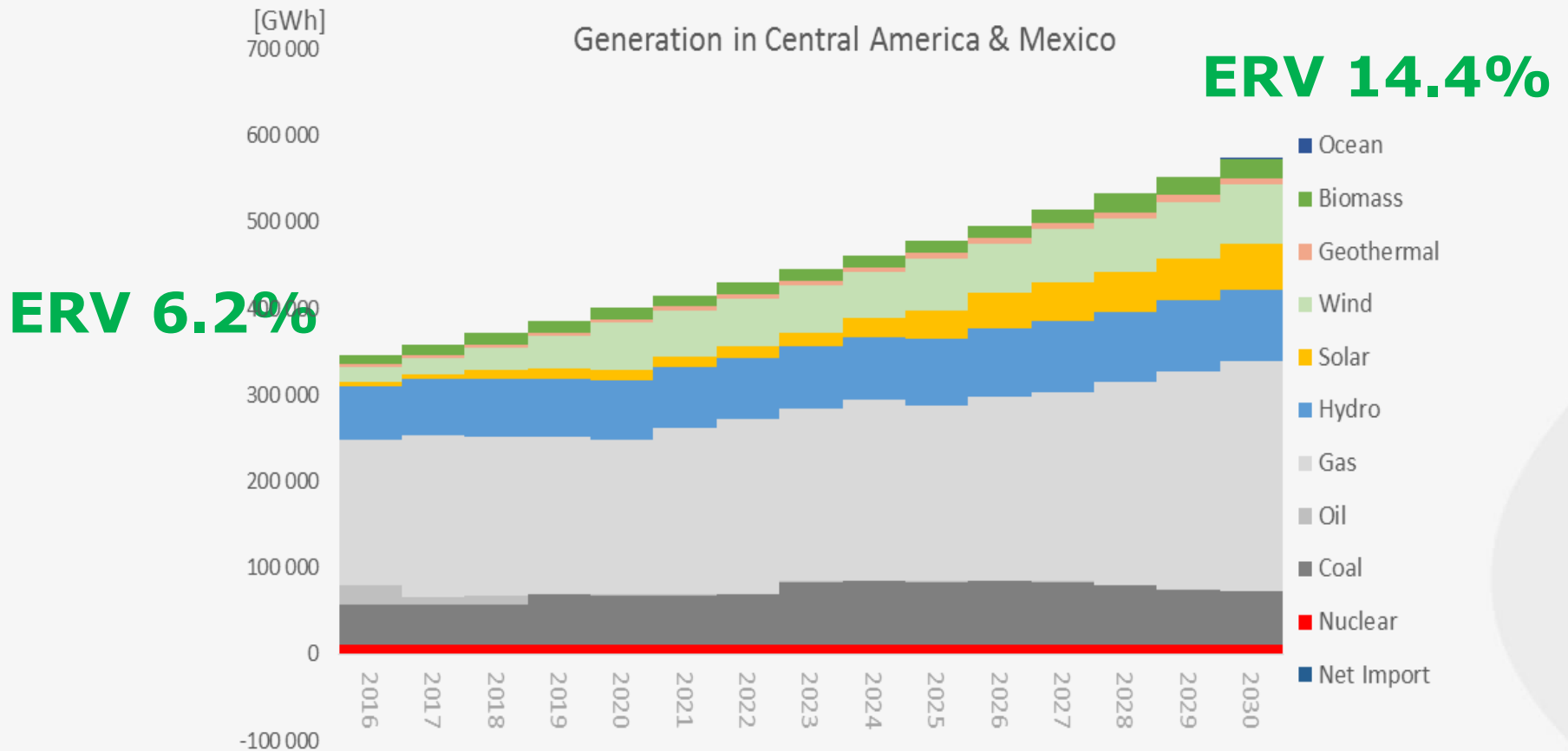
# América del Sur

## Generación por tecnología CORE Opt [GWh]



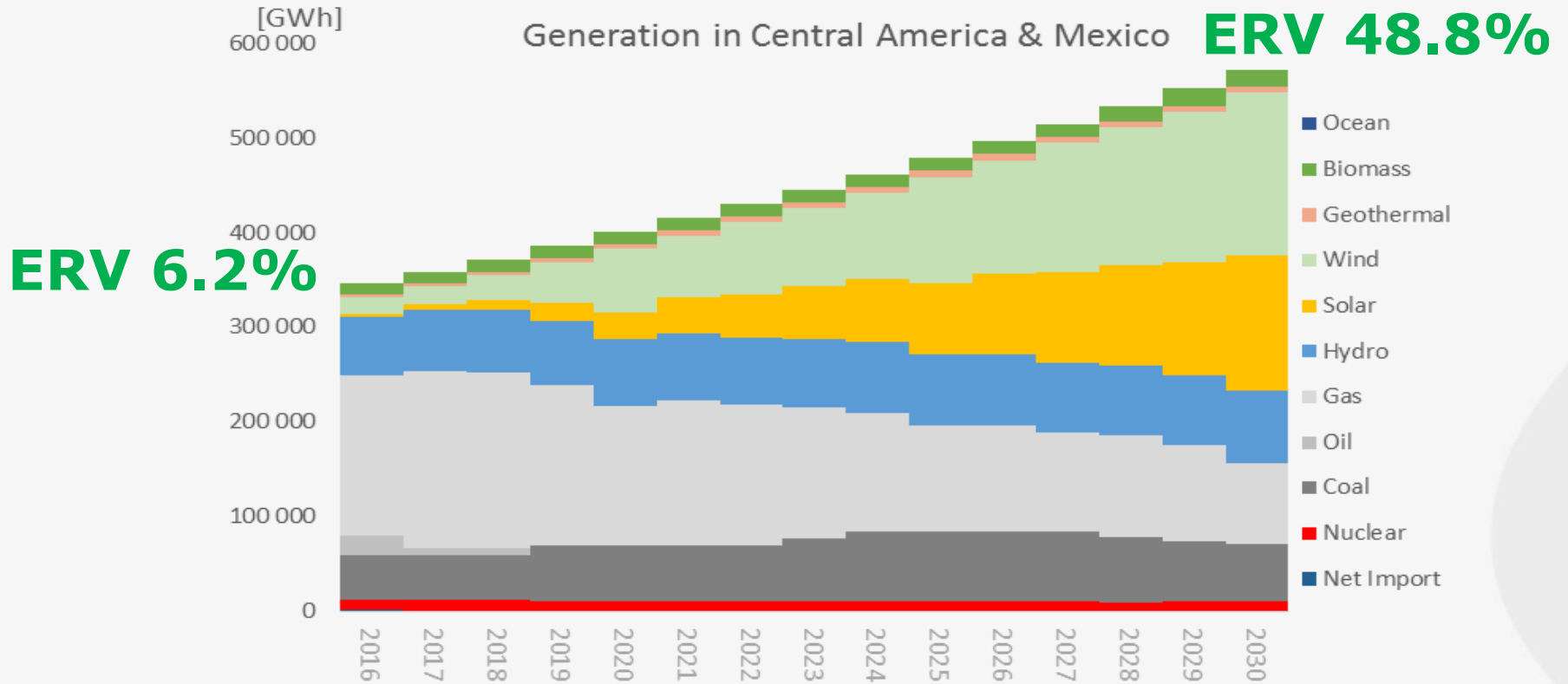
# América Central

## Generación por tecnología BAU [GWh]



# América Central

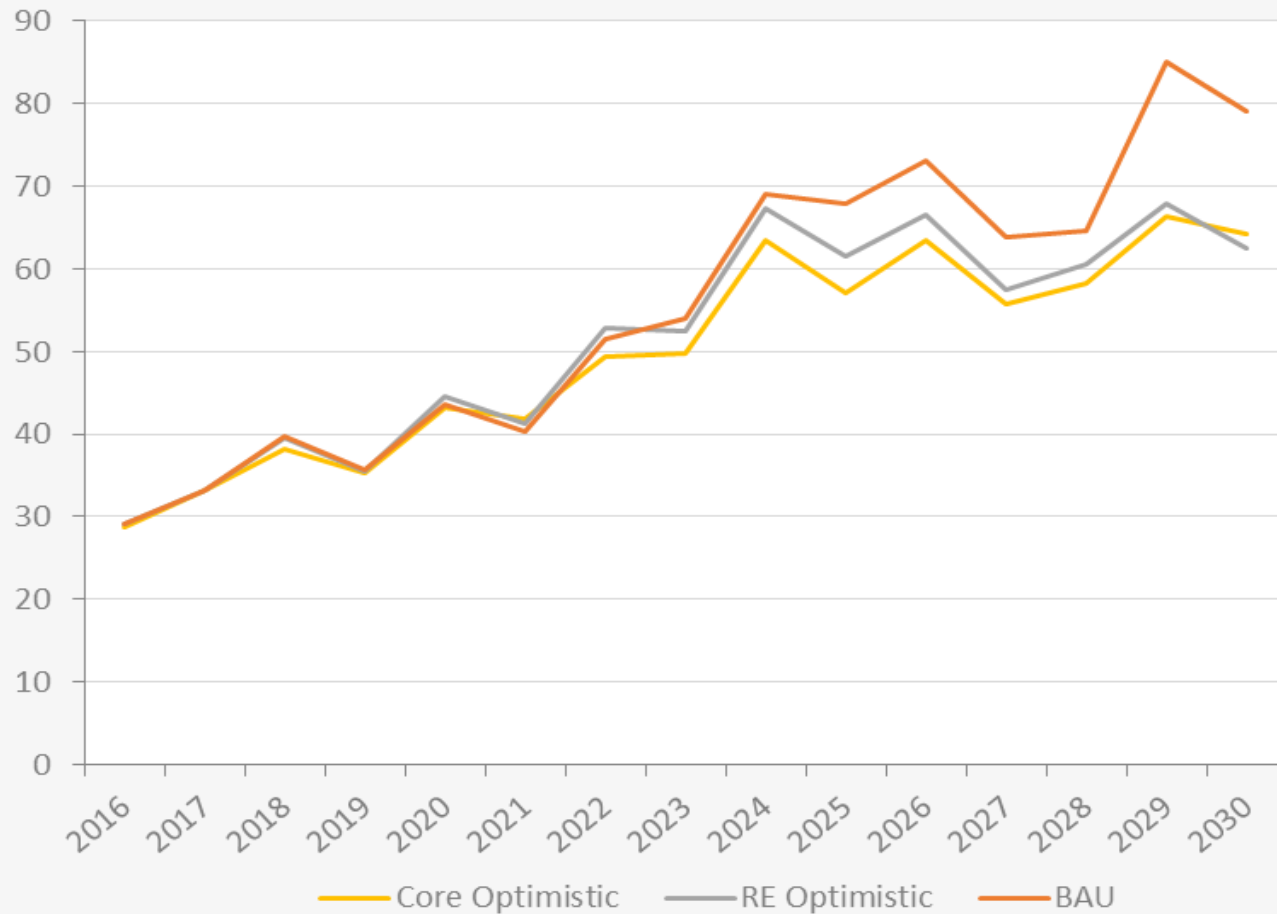
## Generación por tecnología CORE Opt [GWh]





# América Latina

## Costo marginal regional [USD/MWh]



# Red del Futuro

## Costos totales y Reducción GEI [mil USD]

South America	Capacity Built [MW]	Generation Total Cost [\$000]	Line Build Cost [\$000]	Total Cost [\$000]	CO <sub>2</sub> [ton]	NO <sub>x</sub> [ton]	SO <sub>x</sub> [ton]
BAU	128 786	564 701 946	2 182 053	566 883 998	3 402 379 562	5 057 027	3 554 403
Core	145 420	546 413 300	7 981 157	554 394 457	3 171 915 713	4 703 967	3 294 129
RE	155 574	567 345 828	1 902 116	569 247 944	3 200 794 127	4 831 892	3 473 016

Central America & Mexico	Capacity Built [MW]	Generation Total Cost [\$000]	Line Build Cost [\$000]	Total Cost [\$000]	CO <sub>2</sub> [ton]	NO <sub>x</sub> [ton]	SO <sub>x</sub> [ton]
BAU	52 409	314 186 371	1 335 783	315 522 154	2 526 509 529	4 060 238	3 193 667
Core	91 694	302 452 497	2 515 858	304 968 355	1 887 363 551	3 581 217	3 009 080
RE	93 580	309 051 615	2 468 805	311 520 419	1 875 808 435	3 558 150	3 020 221

# AGENDA

- Estudio Red del Futuro
- Resultados
- **Conclusiones**
- Recomendaciones Estudios Integración ERV

# CONCLUSIONES I

- América Latina dispone de un inmenso recurso solar y eólico para poder diversificar su matriz energética, contribuyendo además a objetivos de sostenibilidad y seguridad energética.
- El recurso eólico se concentra en el Cono Sur, costas y Caribe, ofreciendo en algunos puntos factores de planta  $>70\%$ .
- El potencial técnico máximo eólico ( $>35\%$  FP) se estima en 4720GW (equivalente a 12.8 veces la capacidad instalada).

## CONCLUSIONES II

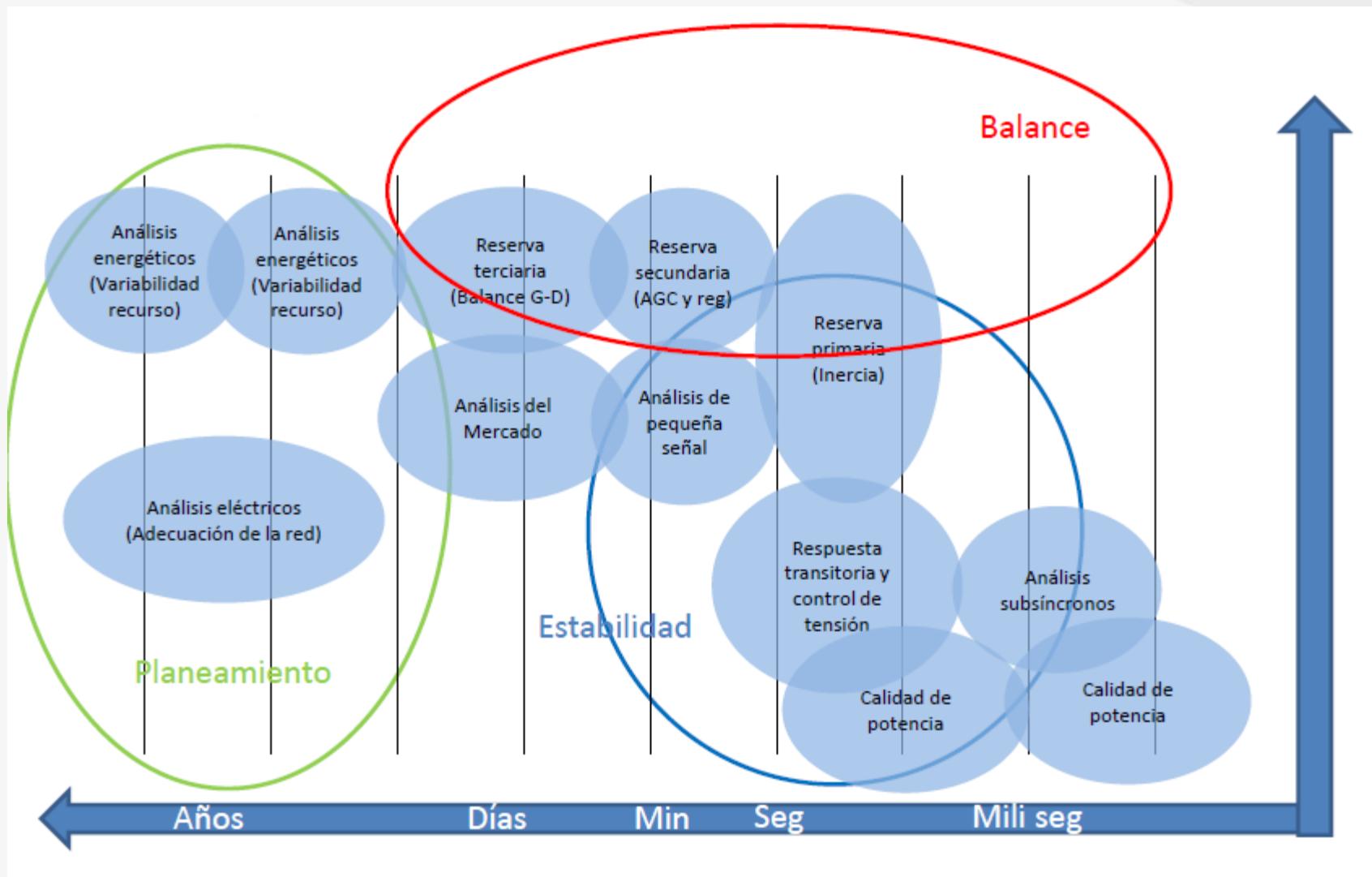
- El recurso solar se encuentra más equitativamente distribuido que el eólico y cercano al Ecuador.
- El potencial técnico máximo solar ( $>230 \text{ W/m}^2$ ) se estima en 8610GW (equivalente a 23.4 veces la capacidad instalada).
- Estimados son del mismo orden de magnitud que estudio reciente de IRENA con datos de entrada de fuentes distintas y supuestos similares:  
Eólico 11X y Solar 1.8X (75km de la red) .

## CONCLUSIONES III

- De acuerdo a los planes actuales nacionales de expansión de la T las ERV, contribuirán de manera importante en los próximos 15 años a cubrir las necesidades energéticas de la región.
- Con los refuerzos necesarios y nuevas posibilidades de interconexiones eléctricas las ERV podrían de manera costo-eficiente contribuir a la reducción de los costos netos del sistema además de ayudar a los países a cumplir con sus compromisos de mitigación de GEI.

# AGENDA

- Estudio Red del Futuro
- Resultados
- Conclusiones
- **Recomendaciones Estudios Integración ERV**





# RECOMENDACIONES I

- La ERV tienen características que deben ser consideradas de manera adecuada en los ejercicios de planificación (estacionalidad, complementariedad etc.). Nuevas herramientas.

# RECOMENDACIONES I

- La ERV tienen características que deben ser consideradas de manera adecuada en los ejercicios de planificación (estacionalidad, complementariedad etc.). Nuevas herramientas.
- Los resultados de un modelo son tan buenos como la calidad de datos de entrada. Datos de calidad solares y eólicos son escasos.

# RECOMENDACIONES I

- La ERV tienen características que deben ser consideradas de manera adecuada en los ejercicios de planificación (estacionalidad, complementariedad etc.). Nuevas herramientas.
- Los resultados de un modelo son tan buenos como la calidad de datos de entrada. Datos de calidad solares y eólicos son escasos.
- Tener en cuenta que la integración demanda estudios en diferentes campos del sector eléctrico/clima. Próximamente otros sectores como transporte sostenible. Mayor coordinación interinstitucional.

## RECOMENDACIONES II

- Es importante contar con equipos de consultoría que conozcan de primera mano los avances en tecnologías renovables y tengan criterio para poder “extrapolar” el desarrollo de estas tecnologías al futuro (“bias” tecnológico o ideológico).

## RECOMENDACIONES II

- Es importante contar con equipos de consultoría que conozcan de primera mano los avances en tecnologías renovables y tengan criterio para poder “extrapolar” el desarrollo de estas tecnologías al futuro (“bias” tecnológico o ideológico).
- Junto con el desarrollo de los estudios en lo posible programar actividades de capacitación con el fin de que las mismas autoridades de planificación puedan de manera independiente realizar los análisis a futuro.

## RECOMENDACIONES II

- Es importante contar con equipos de consultoría que conozcan de primera mano los avances en tecnologías renovables y tengan criterio para poder “extrapolar” el desarrollo de estas tecnologías al futuro (“bias” tecnológico o ideológico).
- Junto con el desarrollo de los estudios en lo posible programar actividades de capacitación con el fin de que las mismas autoridades de planificación puedan de manera independiente realizar los análisis a futuro.
- Formular las preguntas adecuadas!





**¡MUCHAS GRACIAS!**

**Juan Roberto Paredes**

**[jparedes@iadb.org](mailto:jparedes@iadb.org)**